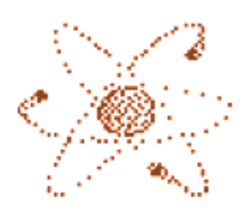


مقدمة لـمكانيكا الكم

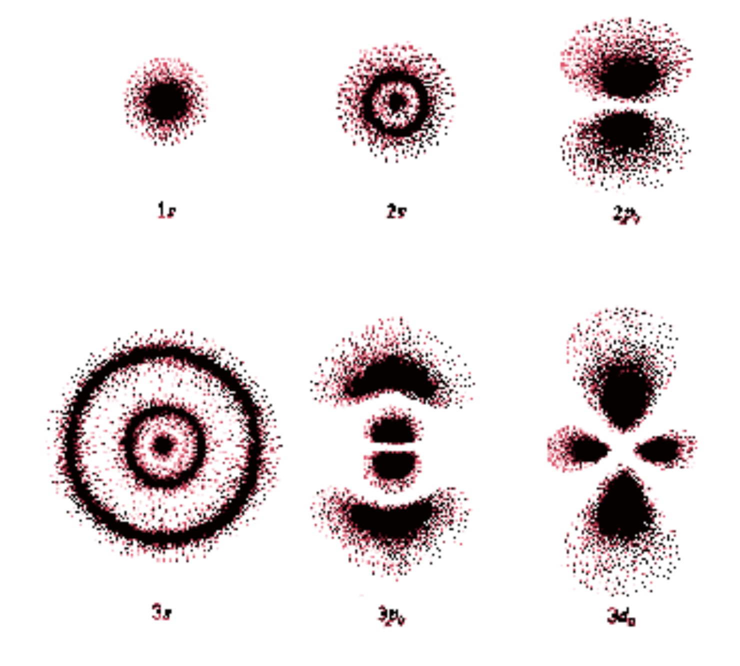
كتبه: Todd Stedl
ترجمة: مُعين يحيى بن جنيد
قسم الفيزياء– جامعة الملك سعود
وعضو الجمعية السعودية الإلكترونية للفيزيائيين

يهدف هذا الموضوع إلى تقديم نظرة عامة و موجزة للشخص العادي عن أهمية ميكانيكا الكم وغرابتها. ومع الأسف، فإن معظم الناس يعتقدون أنهم بحاجة إلى عقل كعقل آينشتاين من أجل فهم ميكانيكا الكم ولذلك فإنهم لا يخوضون فيها أبدا. (و من الطريف أن آينشتاين نفسه لم يكن يؤمن بأن ميكانيكا الكم نظرية صحيحة !) حتى أن بعض الكيميائيين اعتقدوا بذلك أيضا . بل إن أكثر أقسام الكيمياء الفيزيائية قد وضعت الصورة التي في الأسفل لتمثيلها، و هي منتهية الصلاحية منذ ما يقارب المئة عام.

لذلك أرجو أن تقرأ الموضوع و أن تأخذ غطسة في محيط من المعلومات التي أجدها منعشة تماماً



إذا كانت الصورة في الأعلى هي فكرتك عن الذرة، إلكترونات تدور حول النواة بهذه الطريقة، فإن فكرتك منتهية الصلاحية منذ 70 عاما. و قد حان الوقت لتفتح عينيك للعالم الحديث لميكانيكا الكم! إن الصورة في الأسفل تبين بعض المخططات للأماكن الأكثر احتمالا لوجود الإلكترون في ذرة الهيدروجين. (النواة في مركز كل مخطط).



ما هي ميكانيكا الكم؟

بكل يسر، ميكانيكا الكم هي دراسة المادة و الإشعاع في المستوى الذري .

لماذا نشأت ميكانيكا الكم؟

في أوائل القرن العشرين كانت بعض التجارب قد أنتجت نتائج لا يمكن تفسيرها بالفيزياء التقليدية (فيزياء جاليليو و نيوتن، و غيرهما) . فعلى سبيل المثال، كان من المعروف أن الإلكترونات تدور حول نواة الذرة. و على أية حال، إذا كانت تفعل ذلك بطريقة مشابهة لدوارن الكواكب حول الشمس؛ فإن الفيزياء التقليدية تتنبأ بأن هذه الإلكترونات سوف تتحرك بشكل لولبي لتقع داخل النواة في جزء من ثانية. و من الواضح أن هذا لا يحدث، و إلا فإن الحياة التي نعرفها لن تكون. (الكيمياء تعتمد على التفاعلات بين الإلكترونات، و الحياة تعتمد على الكيمياء) . إن هذا التنبؤ الخاطئ مع غيره من بعض التجارب التي استعصى تفسيرها على الفيزياء التقليدية، قد بيّن للعلماء أن شيئا جديدا يجب أن يظهر ليفسر العلوم في المستوى الذري.

إذا كانت الفيزياء التقليدية غير صحيحة ، لماذا نظل نستخدمها ؟

إن الفيزياء التقليدية هي نظرية خاطئة، و هي خاطئة –بشكل كبير جداً– فقط عند التعامل مع الأمور الصغيرة جداً (في حجم الذرة، حيث تستخدم ميكانيكا الكم) أو الأمور السريعة جداً (بالقرب من سرعة الضوء، حيث تحل مكانها النسبية). أما بالنسبة للأمور الحياتية، و التي هي أكبر بكثير من حجم الذرة، و أبطأ بكثير من سرعة الضوء فإن الفيزياء التقليدية تعمل فيها عملاً بارعاً، بالإضافة إلى أن استخدامها أسهل بكثير من كل من ميكانيكا الكم أو النسبية (إذ كلاهما يتطلبان كمية مكثفة من الرياضيات).

ما أهمية ميكانيكا الكم ؟

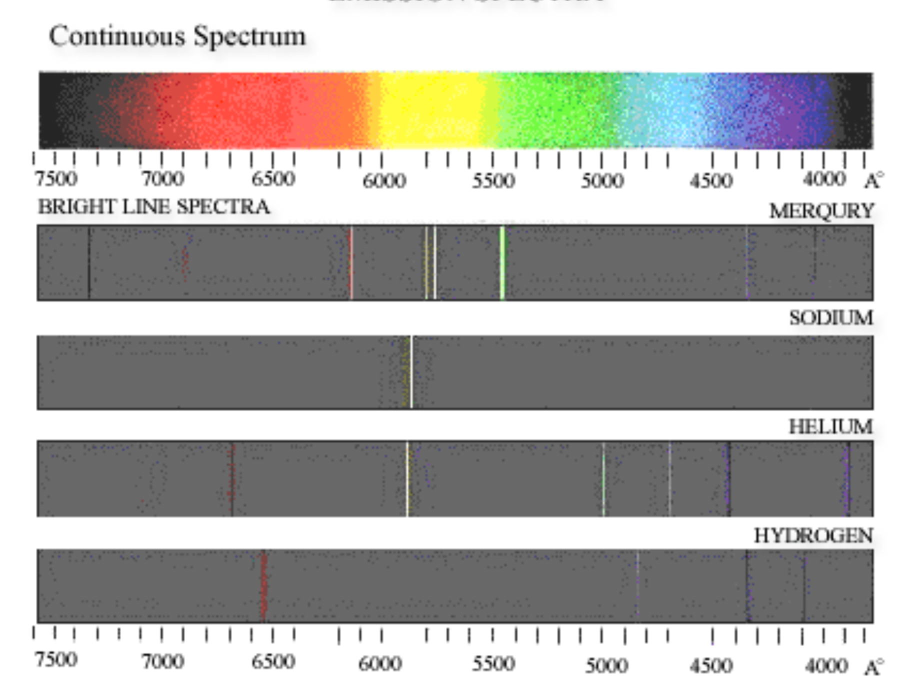
إن القضايا التالية هي من بين أكثر الأشياء أهمية و هي التي تستطيع ميكانيكا الكم أن تصفها ، بينما لا تستطيع ذلك الفيزياء التقليدية :

- عدم اتصال الطاقة.
- ازدواجية الصفة الموجية – الجسيمية للضوء و المادة.
- النفق الكمي.

- مبدأ الارتياب لهايزنبرج.
- برم الجسيم.

عدم اتصال الطاقة

إذا نظرت إلى طيف الضوء المُشَع من الذرات النشطة (كالضوء البرتقالي-الأصفر الصادر من بخار الصوديوم المستخدم في أضواء الشوارع، أو الضوء الأزرق-الأبيض من مصابيح بخار الزئبق) سوف تلاحظ أنها مكونة من خطوط منفردة لألوان مختلفة. هذه الخطوط تمثل انفصال مستويات الطاقة للإلكترونات في تلك الذرات المثارة. عندما يكون إلكترونا ما في حالة ذات طاقة عالية ثم يقفز إلى حالة أدنى، فإن الذرة تشع فوتونا من الضوء يطابق تماما الفرق في الطاقة لهذين المستويين (حفظ الطاقة). كلما كبر ذلك الفرق؛ كلما كان الفوتون نشطا أكثر واقترب لونه من النهاية البنفسجية من الطيف. و إذا لم تكن الإلكترونات مقيدة في مستويات طاقة منفصلة؛ فإن طيف الذرة المثارة سيكون ألوانا متصلة منتشرة من الأحمر إلى البنفسجي بلا خطوط مفردة .



إن مفهوم انفصال مستويات الطاقة يمكن أن يمثَّل من خلال مصباح ضوئي يعمل عند ثلاثة قدرات كهربية مختلفة. فالمصباح ذو 40\75\115 واط يمكن أن يضيء عند هذه القيم فقط، و عندما تنتقل من وضع إلى الذي يليه، فإن القدرة تقفز مباشرة إلى الوضع الآخر بدلا من أن تزداد تدريجيا.

إنها الحقيقة القائلة بأن الإلكترونات يمكن أن توجد فقط في مستوى الطاقة المنفصل و الذي يمنعها من السقوط بشكل لولبي إلى داخل النواة، كما تتنبأ الفيزياء التقليدية. إن تكميم الطاقة هذا مع بعض الخواص الذرية المكممة الأخرى، هو ما يعطي ميكانيكا الكم هذه التسمية.

ازدواجية الصفة الموجية – الجسيمية للضوء و المادة

في عام 1690م وضع كرستيان هيجنز نظرية تقول: إن الضوء مؤلف من موجات، بينما في عام 1704م وضّح نيوتن أن الضوء مكون من جسيمات صغيرة. و قد دعمت التجارب كلا النظريتين. على أية حال، لم تستطع نظرية الجسيم التام و لا نظرية الموجة التامة أن تفسرا *كل* الظواهر المرتبطة بالضوء! لذا فإن العلماء أخذوا يفكرون في الضوء كجسيم و موجة في اللحظة ذاتها. في عام 1923م افترض لويس دي برولي أن الجسيم المادي يمكن أن يُظهر خصائص موجية، و في عام 1927م ثبت (بواسطة ديفيسون و جيرمر) أن الإلكترونات يمكن أن تتصرف بحق مثل الموجة.

كيف يمكن لشيء ما أن يكون جسيما و موجة في نفس اللحظة؟ نقول، إنه من الخطأ أن نعتقد أن الضوء سيل من الجسيمات تتحرك إلى الأعلى والأسفل بطريقة موجية. في الحقيقة، إن الضوء و المادة يوجدان كجسيمات، و ما يتصرف كموجة هو *احتمال* أين سيكون هذا الجسيم. إن السبب في كون الضوء يظهر أحيانا كموجة؛ هو أننا نلاحظ تراكم العديد من جسيمات الضوء موزعة في احتمالات أين سيكون كل جسيم منها.

على سبيل المثال، افترضْ أنه لدينا آلة رمي النبال التي لها فرصة قدرها 5٪ لتبلغ نقطة المركز، و 95٪ لتبلغ الحلقة الخارجية وليس لها أي فرصة لأن تبلغ أي مكان آخر في رقعة النبال. الآن افترض أننا تركنا الآلة لتقذف 100 نبلة، و نبقيها كلها عالقة في الرقعة، يمكننا أن نرى كل نبلة منفردة (لذا نعرف أنها تتصرف كجسيمات) و لكن بإمكاننا أيضا أن نرى أنموذجا في الرقعة مكونا من حلقة كبيرة من النبال تحيط حشدا صغيرا في المنتصف. هذا الأنموذج هو تراكم النبال المنفردة في احتمالات أين يمكن أن تكون كل نبلة قد علقت، و تمثل السلوك الموجي للنبال. (أوصلت الفكرة؟)

النفق الكمي

هذه إحدى أكثر الظواهر التي يمكن أن تتضح من ميكانيكا الكم إمتاعا، و بدونها ما كانت رقائق الكمبيوتر لتظهر، و لكان الكمبيوتر الشخصي قد وسع تقريبا غرفة كاملة. و كما أشرنا سابقا، فإن الموجة تعيِّن احتمال أين سيكون الجسيم. عندما يصادف ذلك الاحتمال أي حاجز طاقوي؛ فإن معظم الموجة سوف ينعكس مرتدا، و لكن جزءا صغيرا منها سوف يتسرب خلال الحاجز. إذا كان الحاجز صغيرا بقدر كاف فإن تلك الموجة التي تسربت سوف تواصل مسيرها إلى الجانب الآخر منه. حتى لو لم يكن ذلك الجسيم يملك طاقة كافية ليجتاز الحاجز، تظل هناك احتمالية أن يتسلل نفقيا من خلاله.

دعنا نفترض أنك ترمي كرة مطاطية على الحائط. أنت تعلم أنك لا تملك الطاقة الكافية لترميها *خلال* الحائط (أي تخترقه)، لذا فإنك تتوقع دوماً أنها سوف ترتد. على أية حال، فإن ميكانيكا الكم تقول إنه يوجد احتمال صغير بأن الكرة قد تخترق الحائط (دون أن تلحق به أي ضرر) لتكمل مسيرها في الجهة الأخرى! مع ذلك فإن لأشياء كبيرة مثل كرة المطاط؛ تلك الاحتمالية تكون صغيرة جدا لحد أنك قد تقذف الكرة لملايين السنين و لن تراها تخترق الحائط. و لكن مع أشياء صغيرة مثل الإلكترون؛ فإن النفقية حدث يومي.

على الجانب الآخر من النفقية، عندما يصادف جسيم انخفاضا في الطاقة فهناك احتمالية صغيرة لأن ينعكس. و بتعبير آخر، إذا كنت تدحرج مرمرا على منضدة مسطحة مستوية؛ فهناك فرصة صغيرة أن ترتد الرخامة عندما تصل إلى الحافة بدلا من أن تسقط على الأرض! ومرة أخرى، لأشياء كبيرة مثل المرمر فإنك لن ترى أبدا شيئا مثل هذا يحدث، و لكن للفوتونات (الجسيمات الضوئية عديمة الكتلة) فإنه حدث حقيقي جدا.

مبدأ الارتياب لهايزنبرج

إن قياس الأشياء في العالم الماكروسكوبي (العيني) الذي حول الناس هو أمر مألوف لديهم . فأحدهم يسحب مقياسا شريطيا ليقيس طول منضدة ما. إن ضابط الشرطة يصوب مسدسه الراداري على سيارة ليعرف أي اتجاه تسلكه السيارة، و كذلك ليعرف كم سرعتها. إنهم يحصلون على المعلومات التي يريدونها ولا يقلقون بشأن ما إذا كانت القياسات نفسها قد غيرت ما كانوا يقيسونه. وفي النهاية، ما المعنى في الإقرار بأن طول المنضدة هو 80 سم إذا كانت عملية القياس ذاتها تغيّر ذلك الطول.

على أية حال، في المقياس الذري لميكانيكا الكم فإن عملية القياس تصبح حساسة جدا. دعنا نفترض أنك تريد أن تعرف أين يكون الإلكترون و إلى أين سيذهب (إن لدى ذلك الضابط شعورا بأن أيَّ إلكترونٍ يصطاده سيكون ماضيا بسرعة أسرع من الحد المسموح به). كيف ستفعلها؟ أتحضر مكبرا ذا قدرة عالية جدا ثم تبحث عن الإلكترون؟ و لكن عملية البحث هذه سوف تعتمد على الضوء، و الذي هو مكون من الفوتونات، و هذه الفوتونات تملك قدرا كافيا من كمية الحركة (الزخم) التي ما أن تصطدم بالإلكترون حتى تغير مساره! إن ذلك يشبه دحرجة كرة البدء على طاولة البليارد و محاولة اكتشاف المكان الذي ستذهب إليه عن طريق ارتداد الكرات الثمانية عن الطاولة. بأخذك القياس عن طريق الكرات الثمانية فإنك بالتأكيد قد أبدلت مسار كرة البدء. قد تكون اكتشفت أين كانت كرة البدء، و لكنك الآن لا تملك أي فكرة عن أين ستذهب (لأنك كنت تقيس بالكرات الثمانية بدلا من النظر إلى الطاولة).

كان فيرنر هايزنبرج أول من أدرك أن بعض الأزواج من القياسات تحوي في جوهرها ارتيابية (لا حتمية) تشترك معها . على سبيل المثال، إذا كانت لديك فكرة جيدة عن موقع شيء ما، عندها، و لدرجة معينة، ستكون لديك فكرة

ضعيفة عن مدى سرعته أو في أي جهة يتحرك. إننا لا نلاحظ ذلك في حياتنا العادية لأن أي ارتيابية متأصلة انطلاقا من مبدأ هايزنبرج هي غير مؤثرة ضمن الدقة المقبولة التي نأملها. و لتمثيل، قد ترى سيارة مركونة فتظن أنك تأكيدا تعرف موقعها و سرعتها. و لكن هل ستعرف تلك الأشياء تماما؟ إذا كنت ستقيس موقع السيارة بدقة تصل إلى مليون من مليون من السنتيمتر، فإنك بذلك ستحاول أن تقيس مواقع الذرات المنفردة التي تكون السيارة، و تلك الذرات تهتز لأن درجة حرارة السيارة أكبر من الصفر المطلق!

إن مبدأ الارتياب لهايزنبرج هو تماما كالذباب في وجه الفيزياء التقليدية.

في النهاية، فإن الأساس في العلوم هو القدرة على قياس الأشياء بدقة.

و الآن تقول ميكانيكا الكم بأنه من المستحيل الحصول على تلك القياسات تماما! و لكن مبدأ الارتياب لهايزنبرج هو حقيقة طبيعية، إذ في ضوئه سوف يكون من المستحيل بناء أداة قياس قد تصل إلى الدقة التامة .

البرم المغزلي للجسيم

في عام 1922م قام كل من اوتو ستيرن و والتر جيرللاك بأداء تجربة ذات نتائج لا يمكن تفسيرها بالفيزياء التقليدية. فتجربتهما تشير إلى أن الجسيمات الذرية تملك كمية حركة زاوية أو برم مغزلي، و أن ذلك البرم مكمم (أي أنها تأخذ قيما منفصلة معينة فقط). فالبرم المغزلي هو خاصية كمية كليا للجسيم، و لا يمكن تفسيرها بأي طريقة من خلال الفيزياء التقليدية .

من المهم أن ندرك أن برم الجسيم الذري هو ليس القياس لكيفية برمه! و في الواقع ، من المستحيل أن نعلم فيما إذا كان شيئا في صغر الإلكترون يبرم (يدور حول محوره) أم لا. إن كلمة "برم" هي طريقة ملائمة و سهلة للحديث عن الزخم الذاتي للجسيم .

إن التصوير بالرنين المغناطيسي (MRI) يستخدم الحقيقة التي تقول إنه تحت شروط معينة فإن برم نويّات (nuclei) الهيدروجين يمكن أن ينقلب من حالة إلى أخرى . و بقياس مناطق تلك الانقلابات ، فإنه يمكن تكوين صورة لموقع ذرات الهيدروجين (كجزء أساس من الماء) في الجسم. و حيث إن الأورام تمتلك تراكيزات مختلفة للماء عن الغشاء المحيط، فإنها سوف تبرز في الصورة .

ما هي معادلة شرودنجر ؟

إن كل جسيم كمي ممثلٌ بدالة موجية. في عام 1925م طور اروين شرودنجر المعادلة التفاضلية التي تصف تطور تلك الدوال الموجية. و باستخدام معادلة شرودنجر يكون باستطاعة العلماء أن يجدوا الدالة الموجية التي تحل مشكلة محددة في ميكانيكا الكم. و لسوء الحظ، فإنه من المستحيل عادة أن نُوجدَ حلا تاما للمعادلة. لذلك يتم استخدام افتراضات معينة من أجل إيجاد جواب تقريبي للمشكلة المحددة.

معادلة شرودنجر

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t}\psi(r,t) = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi(r,t) + V(r,t)\psi(r,t)$$

حيث : i هو العدد التخيلي

$\hbar$ هو ثابت بلانك مقسوماً على 2π

$\psi(r,t)$ الدالة الموجية معرفة على الفضاء و الزمن

m كتلة الجسيم

∇^2 معامل لابلاس

$V(r,t)$ الطاقة الكامنة المؤثرة على الجسيم

ما هي حزمة الموجة (Wave Packet)؟

كما أشير من قبل، فإن معادلة شرودنجر لمشكلة محددة لا يمكن أن تحل حلا تاما. على أية حال، عندما تنعدم القوة المطبقة على الجسيم فإن طاقتها الكامنة تكون صفرا، و عندها فإن معادلة شرودنجر للجسيم يمكن أن تحل حلا تاما. إن هذا الحل لذلك الجسيم الحر يُعرف بحزمة الموجة (التي تظهر مبدئيا تماما مثل منحِنى جرس جاوس). حزم الموجة، بالتالي، تستطيع أن تقدم طريقة مفيدة لإيجاد حلا تقريبياً للمشكلة التي عدا ذلك لا تُحلُّ بسهولة.

أولا، يتم افتراض حزمة الموجة لتصف مبدئيا الجسيم تحت الدراسة. بعد ذلك، عندما يلتقي الجسيم بقوة (حيث لن تكون طاقته الكامنة صفرا)، فإن تلك القوة سوف تعدل الحزمة الموجية. و الخدعة -بالتأكيد- هي إيجاد طرقٍ دقيقة (و سريعة!) لمكاثرة (propagate) حزمة الموجة بحيث تظل تمثل الجسيم في نقطة لاحقة في الزمن.

إن إيجاد تقنيات مكاثرةٍ مماثلة، و تطبيقها في مشاكل (مسائل) مفيدة، هو موضوع تحت البحث حاليا.

المراجع

1- claude cohen–tannoudji , bernard diu , and frank laloe , Quantum Mechanics ,Volumes 1 and 2,John Wiley & Sons,New York(1977) .
2- John J. Brehm and William J. Mullin , introduction to Structure of Matter : A course in Modern Physics, John Wiley & Sons , New York(1989) .
3- Donald A. McQuarrie , Quantum Chemistry , University Science Books , Mill Valley , Calif(1983).

الجمعة 12-4-1426 هـ

